Zool. Anz. **228** (1992) 1/2, S. 82—90
Gustav Fischer Verlag Jena

Versuch einer aktiven Bioindikation mit den bodenlebenden Collembolen-Arten *Folsomia candida* (Willem) und *Heteromurus nitidus* (Templeton) in einem Buchenwald-Ökosystem

A first attempt using soil dwelling collembolan species *Folsomia candida* (Willem) and *Heteromurus nitidus* (Templeton) as an active bioindication in a beech forest ecosystem

Von Hubert Kopeszki

Institut für Zoologie der Universität Wien (Österreich)

Mit 5 Abbildungen (Angenommen: 10. Dezember 1991)

Key words: acid stemflow, Collembola, active bioindicator, soil diagnosis

Abstract

Soil diagnoses and monitoring of distressed forests are now main topics of soil ecological investigations. On way to study deposition effects on forest ecosystems is the investigation of the soil mesofauna. The soil faunas, especially the collembolan, react very sensitively to acids, excessive nitrogen and heavy metals in soil.

In this study the use of two collembolan species as active indicators is examined and discussed. Fertility, growth, development and decomposition activity of *Folsomia candida* and *Heteromurus nitidus* are established to describe soil conditions and changes of soil properties caused by acidification and heavy metal enrichment. It is especially remarkable that pH-value, population density and decompositon rate are correlated in an almost completely parallel way. These above mentioned biological data are very well suitable as biological criterions for soil diagnosis.

Einleitung

Die anthropogene Belastung der Wälder führt zu nachhaltigen Veränderungen der biologischen Systeme. Nicht nur Bäume und krautige Vegetation erkranken, sondern auch Konsumenten und Destruenten im Bodenökosystem stehen unter Streß. Das wirkt sich letztlich negativ auf Nährstoffkreislauf und Bodenfruchtbarkeit aus.

Bevor noch bodenchemische oder -physikalische Veränderungen meßbar werden, reagieren sensitive Organismen bereits darauf. Diese Tatsache führt zu intensiven Bemühungen der Ökologen, pflanzliche und tierische Organismen als Frühindikatoren für Belastungen biologischer Systeme zu finden. Grundsätzlich werden dabei passives und aktives Monitoring unterschieden (Rabe 1982), wobei unter aktiver Bioindi-

kation der Einsatz von Testorganismen unter freiland-experimentellen, standardisierten Bedingungen verstanden wird. Die Reaktionen dieser Testorganismen auf Expositionsbedingungen werden dann als qualitative und/oder quantitative Indikationsparameter gewertet. Solche Reaktionen können sein: populationsdynamische (Vermehrungsrate), produktionsbiologische (Umsatz- bzw. Abbauleistung), sinnes- oder verhaltensphysiologische (Ortsänderungen, Nahrungswahl etc.). Die Darstellung entsprechender Befunde nimmt in der Literatur breiten Raum ein (SCHUBERT 1991).

Für passives Monitoring eignen sich pflanzliche und tierische Organismen mehr oder weniger gleich gut, während für die aktive Bioindikation fast ausschließlich Pflanzen (Flechten, Tabakpflanzen) verwendet werden (SCHUBERT 1991, VDI 91). Nur in Einzelfällen versucht man, Tiere für die Indizierung der Luftverschmutzung (SO_2-Belastung) einzusetzen (ANDRE 1982).

Eine aktive Bioindikation mit Bodentieren wurde bislang nicht versucht, obwohl sich mehrfach gezeigt hat, daß sich die Bodenmesofauna in Waldökosystemen gut für eine Bodenzustandsdiagnose (DUNGER 1982, FUNKE 1986, FRITZLAR et al. 1986, GHILAROV 1978, 1980, HÅGVAR 1984, HÅGVAR und ABRAHAMSEN 1984, KOPESZKI et al. 1987, KOPESZKI 1988) und in weiterer Folge für ein passives Monitoring von schadstoffexponierten Waldstellen eignet (KOPESZKI 1991). Besonders Collembolen sind bereits als Zeigerformen für Säure- und Schwermetallbelastung, aber auch für Dekompositionsraten und somit für die „Fruchtbarkeit" des Bodens speziell im Schadstoffgradienten unter Buchenbäumen des Wienerwaldes nachgewiesen (KOPESZKI 1992).

Auf Grund dieser Befunde wurde hier wieder im Stammablaufbereich von Buchenbäumen ein erster Versuch zur aktiven Indizierung des Bodenzustandes mit Bodentieren unternommen. Weil einerseits der Belastungsgrad des Bodens und die Abundanz der Springschwänze, andererseits Wohndichte und Streuabbauraten (also Mineralisation und „Bodenfruchtbarkeit") sich als gut miteinander korreliert erwiesen haben (KOPESZKI 1992), wurden nun für die aktive Bioindikation zwei charakteristische Collembolenarten des Buchenwaldes – *Folsomia candida* und *Heteromurus nitidus* – herangezogen. Es ist ja bereits bekannt, daß sowohl Fruchtbarkeit und Fortpflanzungsrate als auch Wachstum und Lebensdauer bodenbewohnender Springschwänze eindeutig vom Bodenmilieu (pH-Wert, Stickstoff- und Metallgehalt, etc.) beeinflußt sind (ASHRAF 1696, BÅÅTH et al. 1978, 1980, BENGTSSON et al. 1983, 1985, HUTSON 1978 a, 1978 b, MACLAGEN 1932). Die in der Bodenflüssigkeit gelösten Stoffe – Säuren, Salze, Metalle und erhöhte Stickstoffmengen – beeinflussen demnach direkt die Fertilität und indirekt die Dekompositionsleistung edaphischer Collembolen.

In der vorliegenden Studie nun sollte daher festgestellt werden, ob auch die Fertilität von experimentell in Testgefäßen exponierten Collembolen vom Belastungsgrad des Bodens mit Säuren- und Schwermetallen abhängt und ob mit den öko-biologischen Kriterien „Vermehrungsrate" und „Dekompositionsleistung" auf den Gesamtzustand eines Bodens geschlossen werden kann. Eine weitere Fragestellung war, ob die hier für die Untersuchung erstmals verwendete Methode so praxistauglich ist, daß Springschwänze als aktive Bioindikatoren auch für die Bodenzustandsdiagnose anderer Buchenwaldstandorte herangezogen werden können.

Methode und Standort

Die Versuchsanordnung für die aktive Indikation mit Bodentieren leitet sich von der Streuabbaumethode nach Herlitzius (1977, 1981, 1987) ab und ist eine Weiterentwicklung der „pellets"-Testgefäße, die schon für die Überprüfung der Dekompositionsleistung der Mesofauna im buchenbestandenen Wienerwald mit gutem Erfolg eingesetzt worden sind (Kopeszki 1991).

Als Testorganismen wurden *Folsomia candida* und *Heteromurus nitidus* gewählt. Beide Arten kommen in den untersuchten Bodenproben – vor allem im Zwischenstammbereich – regelmäßig vor und lassen sich im Labor relativ leicht züchten. Dazu kommt, daß beide Arten parthenogenetisch sind, was für Fragestellung und Methode von großem Vorteil ist. Biologie und Lebenszyklus von *F. candida* sind außerdem gut bekannt (Ineson et al. 1982, Leonard & Andersen 1991, Snider 1973, Törne 1961). So stellte schon Hutson (1978a, 1978b) fest, daß eine Temperatur von 20 °C und ein pH-Wert zwischen 4,3 und 6,2 für die Fruchtbarkeit und Langlebigkeit von *F. candida* optimal sind.

Bei meinen Versuchen habe ich Plastikringe (Gebaritrohre, h = 3 cm) mit einem Innendurchmesser von 4,8 cm verwendet und sie mit einem Nahrungs- und Wohnsubstrat gefüllt, das aus einem Gemenge von 1 g zerkleinertem Hasellaub und 1 g Oblaten, sowie einem Blättchen Tetra-Min-Fischflockenfutter als „Start"-Nahrung bestand (Abb. 1).

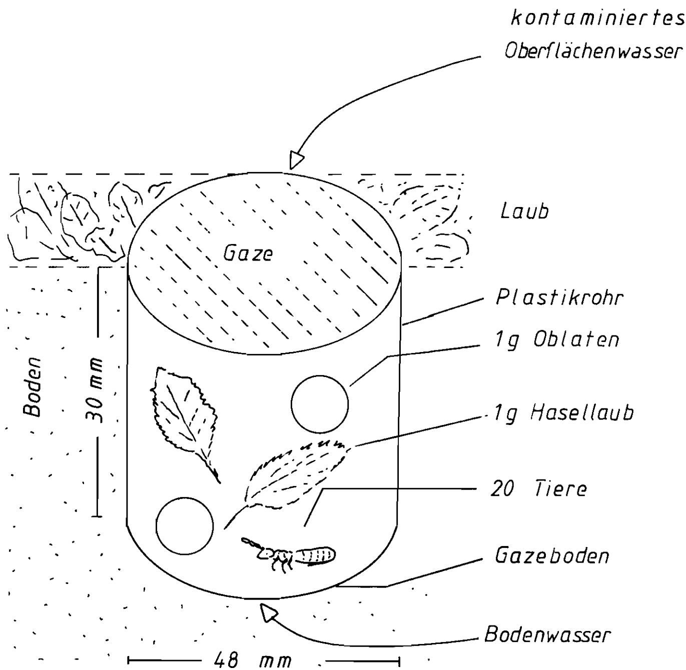


Abb. 1. Testgefäß für die aktive Bioindikation mit Collembolen

In jedem Testgefäß wurden 20 erwachsene Collembolen aus einer Laborzucht eingeschlossen. Boden- und Deckelfläche des Zylinders wurden mit Planktongaze verschlossen, so daß weder Tiere noch Pflanzenwurzeln, wohl aber das kontaminierte Bodenwasser eindringen konnten. Die Gefäße wurden bei Versuchsbeginn mit destilliertem Wasser ausreichend befeuchtet, um das Vertrocknen der Tiere zu verhindern. Die „Zuchtgefäße" wurden im Schadstoffgradienten unter Buchenbäumen des Wienerwaldes exponiert. Die Rohre wurden so im Boden versenkt, daß ihre Oberkante genau mit der Bodenoberfläche abschloß (Abb. 1).

Die Versuche wurden auf dem bodenchemisch, pedologisch (GLATZEL, KAZDA und LINDEBNER 1986, KAZDA 1983, KAZDA & GLATZEL 1984) und bodenzoologisch (KOPESZKI, SCHALLER und CHRISTIAN 1987, KOPESZKI 1988, 1992) gut dokumentierten Exelberg durchgeführt.

Dort wurden vier Bäume mit ausgeprägtem Stammablauf ausgewählt (A, L, LE, M). Die Gefäße wurden paarweise am Stammfuß (ST), unter der „Kronenmitte" (KR) und im Traufenbereich (TR) entlang des pH-Gradienten, d. h. vom Einsickerungsbereich des sauren Stammablaufwassers hangabwärts versenkt, und zwar je ein Gefäß mit *F. candida* und mit *H. nitidus*. Zur Ermittlung von Referenzwerten wurden zudem jeweils vier weitere solche Gefäße im sogenannten Zwischenstammbereich (ZW), d. h. in mindestens fünf Meter Entfernung vom nächsten Baumfuß eingegraben.

Die Versuchsdauer betrug zweimal sechs Monate, eine Winterserie von Oktober 90 bis März 91 und eine Sommerserie von April 91 bis Oktober 91. Nach deren Ablauf wurden die Tiere im Berlesetrichter ausgetrieben, in 70% Äthanol aufgefangen und gezählt. Die Reststreu wurde gewogen, der Streuverlust als „Abbaurate" aufgezeichnet.

Für die statistische Auswertung wurden die Mittelwerte aus den Individuenzahlen der jeweils vier Gefäße vom Stammfuß, von der Kronenmitte und Traufe und vom Zwischenstammbereich gebildet.

Ergebnisse

a) Erfahrungen mit dem methodischen Ansatz

Die Verwendung von Plastikringen als Mikrokosmen hat sich gut bewährt. Die Tiere fressen das eingeschlossene Material, haben damit genügend Futter und durch das eindringende Bodenwasser ausreichende Feuchtigkeit. Sie pflanzen sich (in unbelasteten Böden) gut fort und entkommen im Normalfall nicht. Nur vereinzelt wachsen Wurzeln durch die Gaze, so daß einige Isotomiden ein- und vermutlich „Zuchttiere" auswandern können.

Für die aktive Bioindikation mit Collembolen eignet sich die Sommerserie besser. Sie bringt deutlichere Ergebnisse. Während der Wintermonate erfrieren Tiere in den nicht mit Streu bedecketen Gefäßen im Wurzeltaschenbereich.

b) Abundanz- und Abbauraten

Die massive Schadstoffdeposition im Wienerwald (GLATZEL 1991) und die konzentrierte Einschwemmung der Schadstoffe mit dem Stammablaufwasser führen unter den Buchenbäumen am Exelberg zur Ausbildung eines deutlichen Säuregradienten entlang der Fallinie vom Stammfuß hangabwärts (KOPESZKI 1988). Mit zunehmender Entfernung vom Stammfuß steigt der *pH*-Wert langsam wieder an und erreicht erst im Traufenbereich annähernd den Wert aus dem Zwischenstammbereich (Abb. 2).

Die in der Bodenlösung enthaltenen Schadstoffe beeinträchtigen sowohl die Nachwuchsrate der beiden Collembolenarten als auch die Abbaurate in den Testgefäßen. Im Einsickerungsbereich des sauren Stammablaufwassers ist durch den massiven Protoneneintrag bereits der Aluminium-Pufferbereich erreicht, so daß sich in der Bodenlösung auch toxische Aluminiumionen und Schwermetalle (KAZDA und LINDEBNER 1986) befinden.

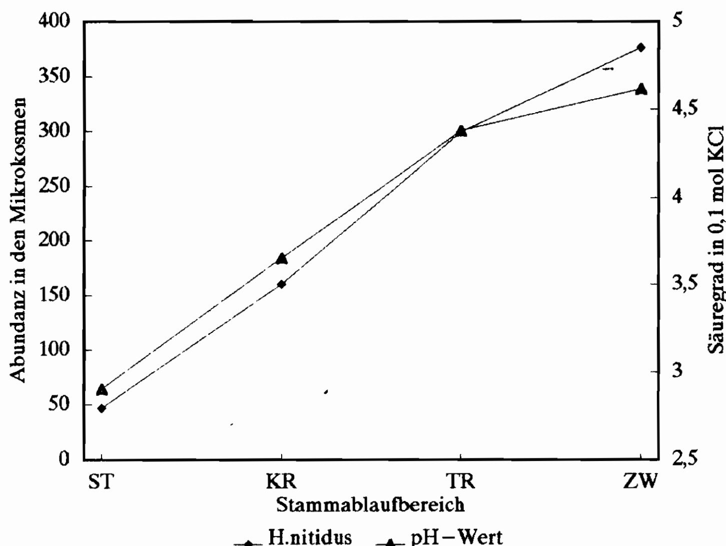


Abb. 2. Abundanz von *Heteromurus nitidus* in den Testgefäßen entlang des Säuregradienten (ST = Stamm, Einsickerungsbereich des kontaminierten Stammablaufwassers; KR = Kronenmitte; TR = Traufenbereich; ZW = Zwischenstammbereich)

Der Wurzeltaschenbereich („ST" in den Abbildungen) wird in mehrfacher Weise zu einem extremen Mikrostandort. Neben Schadstoffdeposition und Basenauswaschung kommt es dort oft auch zu Streuverwehung. Bei Regenfällen bilden sich nicht selten Pfützen (Stauwasser), so daß weitere natürliche abiotische Faktoren (Feuchtigkeit, Temperatur, Licht) die Vermehrungsraten der eingeschlossenen Collembolen beeinträchtigen.

Allerdings hat sich bei meinen Untersuchungen der Mesofauna in schadstoffunbelasteten Waldstandorten (Dobra-Urwald) gezeigt, daß diese Faktoren nicht unmittelbar zu Abundanzreduktion und Bildung faunistischer Gradienten führt. Im Gegenteil, die Wurzeltaschen werden oft von gewissen Dipteren gerne zur Eiablage aufgesucht, epedaphische und atmobiontische Collembolen weiden dort die Algen der Baumrinde ab und erhöhen so die Gesamtabundanz der Tiere um den Stammfuß.

H. nitidus erweist sich als die deutlich empfindlichere Springschwanzart. Wie Abb. 2 zeigt, gehen Abundanz von *H. nitidus* und *pH*-Wert des Bodens praktisch parallel. *F. candida* reagiert ähnlich, bringt aber trotz Schadstoffbelastung wesentlich mehr Nachkommen als *Heteromurus nitidus* hervor. Bemerkenswert ist vor allem, daß bei dieser Art auch in extrem versauerten Stammfußbereichen, die ja normalerweise von freilebenden Collembolen ganz gemieden werden (KOPESZKI 1992), noch ein Populationszuwachs vorkommt. Die Abundanz von *Folsomia candida* ist hier praktisch mehr als doppelt so hoch wie die von *H. nitidus,* während die zwei Arten im Zwischenstammbereich die gleichen Fortpflanzungsraten aufweisen (Abb. 3).

Die Abbauarten verlaufen nahezu parallel zum Schadstoffgradienten. Innerhalb von sechs Monaten werden maximal 55% der eingeschlossenen Substanz abgebaut. *H. nitidus* zeigt die deutlich höheren Abbauraten, obwohl diese Art nach sechs Monaten weniger Individuen in den Gefäßen aufweist als *Folsomia candida.* Das läßt auf eine absolut größere Umsatzleistung von *H. nitidus* schließen (Abb. 4).

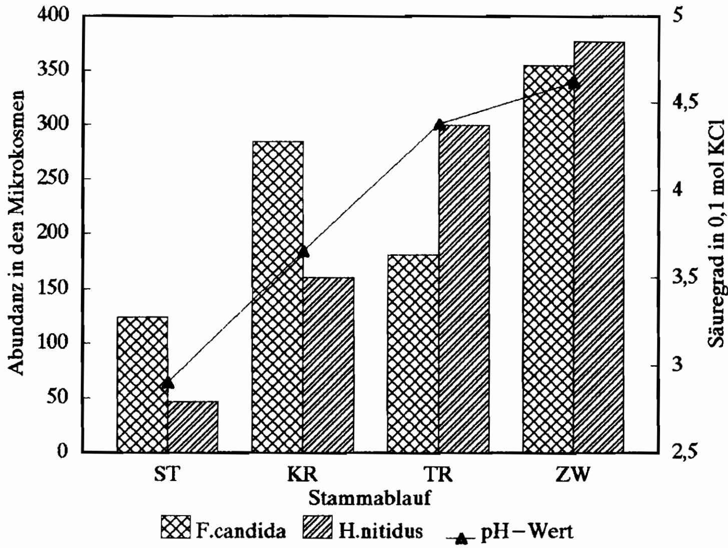


Abb. 3. Abundanzvergleich – *Folsomia candida* und *Heteromurus nitidus* entlang des Schadstoffgradienten (Legende wie Abb. 2)

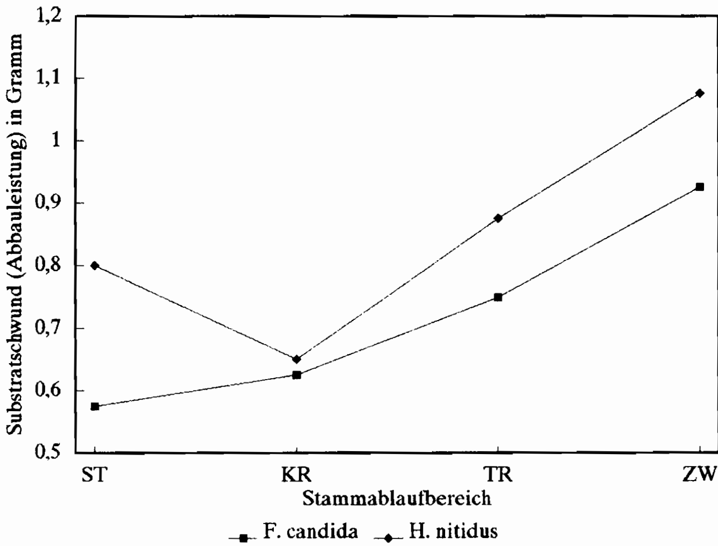


Abb. 4. Abbaurate in den Testgefäßen entlang des Schadstoffgradienten nach 6 Monaten (Legende wie Abb. 2). Ausgangsgemenge: 1 g getrocknetes Hasellaub und 1 g Oblaten

Im Einsickerungsbereich des Stammablaufwassers ist immer die geringste Dekomposition zu beobachten. Allerdings kann durch Auswaschung („leaching"-Effekt) eine höhere, der Anzahl der Tiere aber nicht wirklich entsprechende, Zersetzungsleistung vorgetäuscht werden (Abb. 5).

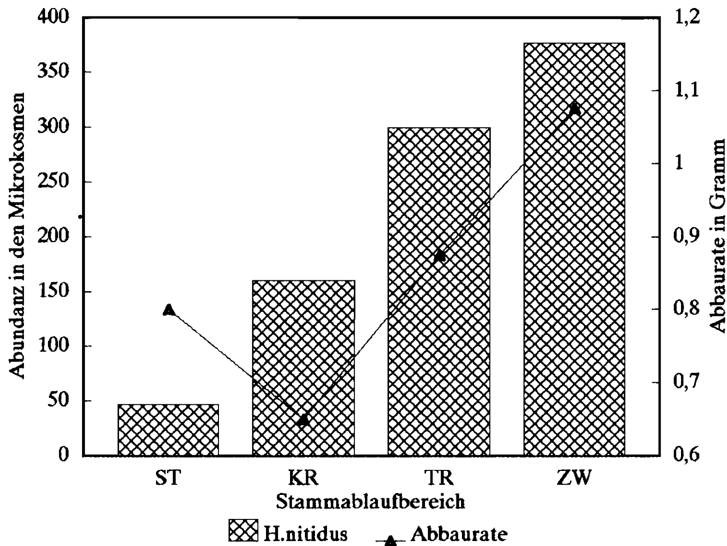


Abb. 5. Zusammenhang von Abbaurate und Abundanz bei *Heteromurus nitidus* (Legende wie Abb. 4)

Zusammenfassung und Diskussion

Die Befunde zeigen, daß *Folsomia candida*, und besonders *Heteromurus nitidus* äußerst sensitive Bioindikatoren sind. Die im Bodenwasser gelösten und in die exponierten Testgefäße eingedrungenen Schadstoffe verändern das Nahrungs- und Wohnmaterial für diese parthenogenetischen Collembolen so (KOPESZKI 1991), daß deren Fortpflanzungsraten und Abbauleistungen stark beeinträchtigt werden. Im stark versauerten und schwermetallangereicherten Boden des Wurzeltaschenbereich der Buchen sterben die meisten Versuchstiere sogar. Überlebende Weibchen pflanzen sich offensichtlich nur spärlich fort. Vermutlich beeinträchtigen die Schadstoffe Eiablage und Embryonalentwicklung, oder sie wirken auf die Versuchstiere selbst letal.

Somit ergibt sich klar, daß beide Collembolenarten, besonders aber der empfindlichere *H. nitidus*, für die Bodenzustandsdiagnose gut geeignet sind. Aus ihrer unterschiedlichen Fertilität in den Testgefäßen läßt sich sogar quantitativ auf die jeweilige Schadstoffkontamination des Bodens bzw. Bodenwassers rückschließen. Nach entsprechender „Eichung" können diese Tiere also als Frühindikatoren für eine ökologisch adäquate Bodenzustandsdiagnose anthropogen beeinflußter Böden herangezogen werden.

Danksagung

Die Studie wurde im Rahmen eines vom Forschungsfonds FWF geförderten Projektes (P7096-CHE) und im Auftrag der MA 22 durchgeführt. Herrn Prof. SCHALLER danke ich sehr herzlich für die kritische Durchsicht des Manuskripts, Herrn Doz. CHRISTIAN für die Überlassung der Labortiere.

Literatur

Andre, H. M., C. Bolly and Ph. Lebrun: Monitoring and mapping air pollution through an animal indicator: a new and quick method. J. Appl. Ecol. **19** (1982) 107–111.

Ashraf, M.: Studies on the biology of Collembola. Rev. Ecol. Biol. Sol. **3** (1969) 337–347.

Bååth, E., U. Lohm, B. Lundgren, T. Rosswall, B. Söderström, B. Sohlenius and A. Wirén: The effects of nitrogen and carbon supply on the development of soil organism populations and pine seedling: a microcosm experiment. Oikos **31** (1978) 153–163.

Bååth, E., B. Berg, U. Lohm, H. Lundkvist, T. Rosswall, B. Söderström and A. Wirén: Effects of experimental acidification and liming on soil organism and decomposition in a Scots pine forest. Pedobiologia **20** (1980) 85–100.

Bengtsson, G., T. Gunnarson, and S. Rundgren: Growth changes caused by metal uptake in a population of *Onychiurus armatus* (Collembola). Oikos **40** (1983) 216–225.

Bengtsson, G., L. Ohlson, and S. Rundgren: Influence of fungi on growth and survival of *Onychiurus armatus* (Collembola) in a metal polluted soil. Oecologia Berlin **68** (1985) 63–68.

Dunger, W.: Tiere des Bodens als Leitformen für anthropogene Umweltveränderungen. Dechenia Beihefte (Boon) **26** (1982) 151–157.

Fritzlar, F., W. Dunger and G. Schäller: Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosystemen. X. Collembolen im Immissionsgebiet eines Phosphat-Düngemittelwerkes. Pedobiologia **29** (1986) 413–434.

Funke, W.: Tiergesellschaften im Ökosystem „Fichtenforst" (Protozoa, Metazoa – Invertebrata) – Indikatoren von Veränderungen in Waldökosystemen. KfK-PEF **9** (1986).

Ghilarov, M. S.: Bodenwirbellose als Indikatoren des Bodenhaushaltes und von bodenbildenden Prozessen. Pedobiologia **18** (1978) 300–309.

–: Bodenwirbellose als Bioindikatoren des Bodenhaushaltes und seiner Änderungen unter anthropogenen Einflüssen Z. Bioindikation **4** (1980) 3–9.

Glatzel, G., M. Kazda und L. Lindebner: Die Belastung von Buchenwaldökosystemen durch Schadstoffdeposition im Nahbereich städtischer Ballungsgebiete: Untersuchungen im Wienerwald. Düsseldorfer Geobot. Kolloq. **3** (1986) 15–32.

–: Veränderungen des Stickstoffhaushaltes von Waldökosystemen in Österreich. Proceed. Nov. Neuburg/Passau.

Hågvar, S.: Effects of liming and artificial acid rain on Collembola and Protura in coniferous forest. Pedobiologia **27** (1984) 341–354.

– und G. Abrahamsen: Collembola in Norwegian coniferous forest soils. III. Relation to soil chemestry. Pedobiologia **27** (1984) 331–339.

Herlitzius, R., und H. Herlitzius: Streuabbau in Laubwäldern. Oecologia (Berlin) **30** (1977) 147–171.

Herlitzius, H.: Zur Phänologie des Streuabbaus in Wäldern. Sonderdruck aus Verhandlungen Ges. f. Ökol. Bd. X (Göttingen) **19** (1981).

–: Decomposition in five woodland soils: relationships with some invetebrate populations and with wether. Biol. Fertil. Soils **3** (1987) 85–89.

Hutson, B. R.: Influence of pH, temperature and salinity on the fecundity and longevity of four species of Collembola. Pedobiologia **18** (1978a) 163–179.

–: Effects of variations of the plastercharcoal culture method on a collembolan, *Folsomia candida*. Pedobiologia **18** (1978b) 138–144.

Ineson, P., A. Leonard and J. M. Anders: Effects of collembolans grazing upon nitrogen and cation leaching from decomposing leaf litter. Soil. Biol. Biochem. **14** (1982) 605–610.

Kazda, M.: Schwermetalleintrag in das Buchenwaldökosystem des Wienerwaldes. (1983) Diplomarbeit an d. Univ. f. Bodenkultur, Wien.

–, und G. Glatzel: Schwermetallanreicherung und Schwermetallverfügbarkeit im Einsickerungsbereich vom Stammablaufwasser in Buchenwäldern (*Fagus sylvatica*) des Winterwaldes. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **147** (1984) 743–752.

–, – und L. Lindebner: Schwermetallanreicherung und Mobilität im Waldboden. Mitt. öster. geol. Ges. **79** (1986) 131 – 142.

KOPESZKI, H., F. SCHALLER und E. CHRISTIAN: Bodenzoologische Untersuchungen im Einflußbereich des Buchen-Stammablaufes. FIW-Berichte im Auftrag des BMfWF Wien. Hrsg.: FÜHRER, E., und F. NEUHUBER: Ergebnisse der Immissionsforschung (1987) 82 – 88.

–: Populationsdynamik und Indikatorwert der Boden-Mesofauna im Einflußbereich des sauren Buchen-Stammablaufes. Zool. Anz. **221** (5/6) (1988) 368 – 378.

–: Abundanz und Abbauleistung der Mesofauna (Collembola) als Kriterien für die Bodenzustandsdiagnose im Wiener Buchenwald. Zool. Anz. **227** (1991) 136 – 159.

–: Veränderungen der Mesofauna eines Buchenwaldes bei Säurebelastung. Pedobiologia **36** (1992) 000 – 000.

LEONARD, M. A., and J. M. ANDERSON: Growth dynamics of Collembola (*Folsomia candida*) and fungus (*Mucor plumbeus*) in relation to nitrogen availability in spatially simple and complex laboratory systems. Pedobiologia **35** (1991) 163 – 173.

MACLAGEN, D. S.: An ecological study of he "Lucern flea" (*Sminthurus viridis* L.). Bull. ent. res. **23** (1932) 101 – 145.

RABE, R.: Der Nachweis von Luftverunreinigungen und ihre Wirkung durch Bioindikatoren. Forum Städte-Hygiene **33** (1982) 15 – 21.

SCHUBERT, R.: Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen. Gustav Fischer Verlag, Jena 1991.

SNIDER, R.: Laboratory observations on the biology of *Folsomia candida* (Willem) (Collembola: Isotomidae). Rev. Ecol. Biol. Sol. **10** (1973) 103 – 124.

TÖRNE, E.: Ökologische Experimente mit *Folsomia candida* (Collembola). Pedobiologia **1** (1961) 146 – 149.

VDI: Bioindikation. Internationales Kolloquium 24. – 26. 9. 91, Wien. Kommission Reihaltung der Luft und Österreichisches Umweltbundesamt (1991).

Dr. HUBERT KOPESZKI, Zoologisches Institut der Univ. Wien, Althanstraße 14, 1090 Wien, Österreich (Austria)